

REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA E COR VERDADEIRA DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO UTILIZANDO PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO (POA)

Edilma Rodrigues Bento Dantas; Elaine Gurjão de Oliveira; Wilza da Silva Lopes; Wilton Silva Lopes

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) - edilma.dantas@hotmail.com

RESUMO

A presente pesquisa objetivou avaliar a eficiência do processo Fenton (Processo Oxidativo Avançado) no tratamento de lixiviado de aterro sanitário proveniente do município de João Pessoa, no Estado da Paraíba. O lixiviado bruto foi caracterizado e os parâmetros utilizados no processo foram obtidos por Silva (2014) após serem otimizados e são os seguintes: Dosagem de sulfato de ferro de 25 g/L, Razão Molar Fe^{2+}/H_2O_2 de 1:3, pH de oxidação igual a 2, Tempo de oxidação de 20 min, Tempo de floculação de 10 min, Tempo de sedimentação de 15 min. O estudo compreendeu ainda a caracterização do lixiviado tratado (sobrenadante) e quantificação do volume de lodo gerado no processo. O lixiviado tratado por processo Fenton alcançou uma eficiência de 76% na remoção da DQO, 91% da cor real. O processo POA/Fenton gerou 350 mL de lodo por litro de lixiviado tratado.

Palavras-chave: Tratamento, Lixiviado, lodo, Fenton, POA.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios para a sociedade contemporânea é a ineficiência da gestão de resíduos sólidos. Deste modo, a grande quantidade de resíduos sólidos produzida pela população passou a ser encarada como um problema. Segundo Santos (2012) a problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) se tornou mais evidente nos últimos anos, principalmente devidos aos novos padrões de consumo da sociedade, que na busca do seu bem estar social e material tem aumentado o consumo de produtos, gerando consigo elevadas quantidades de resíduos.

Esses resíduos apresentam uma composição bastante variável, são constituídos por restos orgânicos de alimentos, produtos deteriorados, jornais, revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis, dentre uma grande diversidade de outros itens. Pode conter ainda resíduos com diversos graus de toxicidade, como tintas, solventes, pigmentos, vernizes, pesticidas, inseticidas, repelentes, herbicidas, óleos lubrificantes, baterias, pilhas, frascos de aerossóis, lâmpadas fluorescentes, dentre outros.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12305/10) preconiza que os resíduos sólidos urbanos devem ter disposição final ambientalmente adequada e ordenada em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010). Atualmente os aterros sanitários são a principal forma empregada para a disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos.

Segundo Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 8419/1992, aterro sanitário é uma obra de engenharia que objetiva acomodar resíduos no menor espaço possível, com danos mínimos ao ambiente e à saúde pública. Essa técnica consiste na compactação de resíduos no solo, na forma de camadas que são periodicamente cobertas com solo ou outro material inerte.

A simples disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários não garante proteção ambiental completa, pois sua manutenção requer preocupações cotidianas no que se refere a medidas de proteção do ambiente em seu entorno e regiões limítrofes. O lixiviado e o gás metano (CH_4) são subprodutos gerados no interior dos aterros, sendo ele extremamente danosos para o meio ambiente.

A formação de lixiviados de aterro de RSU ocorre na interação entre o processo de biodegradação da fração orgânica desses resíduos e da infiltração de águas pluviais que solubilizam componentes orgânicos e inorgânicos (TUGTAS, *et al.*, 2013). Conseqüentemente, o fator determinante na vazão de lixiviados de um aterro sanitário é o volume de águas pluviais infiltradas, enquanto o fator determinante das características físicas, químicas e microbiológicas do lixiviado são as características dos resíduos aterrados (LANGE *et al.*, 2009).

Segundo Renou, *et al.*, (2008) o lixiviado contém substâncias tóxicas e altamente poluentes oriundas de resíduos industriais, ou mesmo perigosas de maneira inadvertida nos aterros. Essas substâncias perigosas que eventualmente existem na massa de resíduos sólidos podem causar danos ambientais se atingirem o lençol freático ou as águas superficiais, além de serem prejudiciais em caso de emissões de gases voláteis para a atmosfera. Esses efeitos danosos

podem se estender à comunidade animal e vegetal aquática e aos seres humanos que dela se utilizam.

Devido à grande complexidade do lixiviado, sua composição global é mais frequentemente determinada por meio de análises físico-químicas e biológicas, com destaque para os seguintes parâmetros; pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Total (COT), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Nitrogênio Kjeldhal Total (NKT), Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃), alcalinidade e toxicidade (RENOU *et al.*, 2008).

Segundo Kjeldsen *et al.* (2002) os poluentes presentes nos lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos podem ser divididos em quatro grupos:

- Matéria orgânica dissolvida, quantificado como Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Carbono Orgânico Total (COT), ácidos graxos voláteis (que se acumulam durante a fase ácida do processo de estabilização de resíduos), e compostos mais refratários, tais como compostos fúlvicos e húmicos;
- Macrocomponentes inorgânicos: cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sódio (Na⁺), potássio, de amônio (K⁺), amônia (NH₄⁺), Ferro (Fe²⁺), manganês (Mn²⁺), cloreto (Cl⁻), sulfato (SO₄²⁻) e hidrogênio carbonato (HCO₃⁻).
- Metais pesados: cádmio (Cd²⁺), cromo (Cr³⁺), cobre (Cu²⁺), chumbo (Pb²⁺), níquel (Ni²⁺) e zinco (Zn²⁺).
- Compostos orgânicos xenobióticos (XOCs) provenientes de uso doméstico ou industrial de produtos químicos, e presentes em concentrações relativamente baixas (geralmente menos de 1 mg/L de compostos individuais). Esses compostos incluem, entre outros, uma variedade de hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, alifáticos clorados, pesticidas e plásticos.

Nagashima (2009) afirma que o lixiviado de aterro conta ainda com a presença de substâncias húmicas, sendo compostos de elevada massa molecular que podem ser divididas em três frações químicas principais: ácidos húmicos (a), ácidos fúlvicos (b) e huminas (c).

- a) ácido húmico – fração escura solúvel em meio alcalino, precipitando-se em forma de produto escuro e amorfo em meio ácido. Quimicamente são muito complexos, formados por polímeros de compostos

aromáticos e alifáticos com elevado peso molecular e grande capacidade de troca catiônica. Combina-se com elementos metálicos formando humatos, que podem precipitar ou permanecer em dispersão coloidal.

- b) ácido fúlvico – fração colorida que se mantém solúvel em meio alcalino ou em meio ácido diluído. Quimicamente é constituída por polissacarídeos, aminoácidos e compostos fenólicos. Apresentam alto conteúdo de grupos carboxílicos e seu peso molecular relativamente baixo.
- c) humina – fração insolúvel em meio alcalino ou em meio ácido diluído e apresenta reduzida capacidade de reação.

Outra característica importante na caracterização do lixiviado é o fator tempo de aterramento dos resíduos sólidos, que influi na qualidade do mesmo, pois o seu potencial poluidor biodegradável decresce com o tempo de aterramento (MORAVIA, 2010). Em aterros sanitários mais antigos o lixiviado apresenta substâncias recalcitrantes que prejudicam (ou até mesmo inviabilizam) o tratamento biológico.

O termo recalcitrância está associado à dificuldade ou impossibilidade de degradação de certas substâncias químicas na natureza. A presença de tais substâncias em lixiviados provenientes de aterros velhos resultam da decomposição de tecido vegetal morto, que contribui significativamente para a coloração escura do lixiviado nessa etapa e tem longo tempo de permanência no lixiviado. Como a comunidade de microrganismos são os principais agentes dos processos de decomposição e reciclagem de nutrientes, sua incapacidade de degradar ou transformar essas substâncias é o indício de sua recalcitrância ou persistência no meio ambiente.

A recalcitrância é decorrente de diversos fatores, dentre os quais são citados:

1. Estrutura química complexa desprovida de grupos funcionais que apresentam reatividade;
2. Ação tóxica de compostos químicos sobre os microrganismos responsáveis pela degradação inativando metabolismo celular dessas espécies;
3. Interações entre compostos químicos gerando produtos pouco acessíveis às enzimas extracelulares e a posterior biodegradação (MORAIS, 2005).

Sendo assim, a definição do qual processo de tratamento de lixiviado deverá ser utilizado, dependerá das características físico-químicas do lixiviado (PEDROSA, 2012).

O tratamento do lixiviado de aterro sanitário pode ser bastante variado, podendo ser efetuado através de sistemas aeróbios (a) e anaeróbios (b), coagulação-floculação/sedimentação (c), oxidação química (d), dentre outros.

Usualmente, as técnicas mais utilizadas para o tratamento do lixiviado são fundamentadas em processos biológicos que são ineficientes para o atendimento dos padrões da legislação brasileira, principalmente quando esse resíduo líquido é mais antigo (estabilizados), pois possuem materiais recalcitrantes que são de difícil degradação (MORAIS, 2005).

Uma alternativa para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário seria a utilização de Processos Oxidativos Avançados (POA), que são baseados na geração de radicais hidroxila ($\text{HO}\cdot$), espécie extremamente reativa e pouco seletiva, com potencial de oxidação de 2.80 V, que é capaz de degradar grande variedade de substâncias inclusive compostos não biodegradáveis (Anfruns *et al.* 2013).

Dentre os POAs mais promissores para o tratamento de lixiviado pode-se destacar o processo Fenton. Segundo Aguiar *et al.* (2007) o processo FENTON consiste na reação entre Fe^{2+} e H_2O_2 , gerando radicais $\text{OH}\cdot$, que possuem elevado potencial de oxirredução (equação 1).



Na ausência de um substrato o radical hidroxila formado pode oxidar outro íon Fe^{2+} (equação 2).



É importante salientar que o ferro em solução aquosa existe como aquo-complexos. No entanto, para simplificação do texto foram omitidas as águas de hidratação nas reações representadas. Os íons férricos formados podem decompor H_2O_2 cataliticamente a H_2O e O_2 , cujos passos são dependentes do pH (equações 3-7).



Como pode ser visto na equação 7, H_2O_2 pode também atuar como sequestrador de radical hidroxila, formando o radical hidroperoxila ($\text{HO}_2\cdot$), que tem menor potencial de redução do que $\cdot\text{OH}$, prejudicando, portanto, o processo de degradação. Isto ocorre na presença de excesso de H_2O_2 , pois neste caso, a concentração de Fe^{2+} no meio é baixa em relação à de Fe^{3+} , uma vez que a reação entre Fe^{3+} e H_2O_2 (equação 3) é muito mais lenta que a decomposição de H_2O_2 na presença de Fe^{2+} . O efeito prejudicial do excesso de H_2O_2 na degradação de compostos orgânicos foi observado na degradação de herbicidas e efluentes, o que demanda uma atenção especial para a utilização da concentração adequada (MAUS, et al., 2009).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da utilização do Processo Oxidativo Fenton (POA/Fenton) na remoção da carga orgânica em termos de DQO e cor verdadeira.

2. OBJETIVOS

- Caracterizar o lixiviado bruto proveniente do aterro de João Pessoa-PB em termos de DQO e cor verdadeira;
- Investigar a eficiência do POA/Fenton na remoção de carga orgânica e cor verdadeira.
- Quantificar o volume de lodo formado.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 Local do Experimento

O sistema experimental será monitorado nas dependências da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES) da Universidade Estadual da Paraíba localizada na cidade de Campina Grande-PB, situada na zona do Agreste do Estado da Paraíba.

3.2 Lixiviado

O lixiviado que será utilizado é proveniente do aterro sanitário da região metropolitana de João Pessoa-PB, que está localizado no Engenho Mussuré no Distrito Industrial a 5 km da BR-101, o qual recebe os resíduos do Consórcio de Desenvolvimento Intermunicipal da Região Metropolitana, constituído pelas cidades de Santa Rita, Bayeux, Cabedelo, Lucena, Conde, Cruz do Espírito Santo e João Pessoa. O lixiviado coletado foi transportado em caminhões tanques e já se encontra nas dependências da EXTRABES armazenado em reservatórios de PVC.

3.3 Desenvolvimento Experimental

O experimento foi dividido em duas etapas, na primeira etapa fez-se a caracterização do lixiviado bruto, posteriormente o lixiviado bruto (4 litros) foi colocado no reator físico-químico para ser tratado por POA/Fenton e retirou-se alíquotas para fazer as análises de DQO total e cor verdadeira, além da quantificação do volume do lodo produzido. A Tabela 1 mostra os parâmetros utilizados no POA/Fenton.

PARÂMETRO	VALOR
Dosagem reagente FENTON	5 g/L de Fe ²⁺
Razão Molar H ₂ O ₂ /Fe ²⁺	1:3
pH de oxidação	2
Tempo de oxidação	20 min
Tempo de floculação	10 min
Tempo de sedimentação	15 min

Tabela 1 - Parâmetros operacionais otimizados.

Após serem colocados os 4 litros de lixiviado posteriormente adicionou-se ácido clorídrico (para se garantir o pH ótimo para a oxidação) e foi acrescentado o peróxido de hidrogênio e o

sulfato de ferro.

Passado o tempo de oxidação (20 min) foi adicionado hidróxido de sódio, para atingir o pH em torno de 8 para se processar a coagulação (10 min).

Na segunda etapa o sobrenadante derivado do POA/Fenton foi encaminhado para um Reator de Sedimentação onde permaneceu por 15 minutos e posteriormente foi encaminhado para um Reator UASB e um Reator de lodo ativado. Esta segunda etapa não será abordada neste trabalho. A Figura 1 ilustra o diagrama esquemático do experimento.

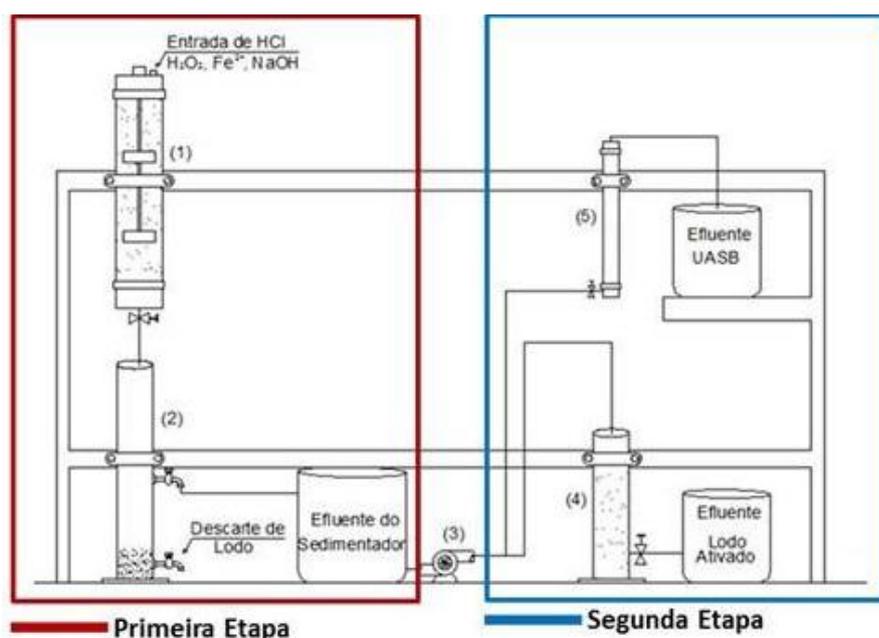


Figura 01 – Diagrama esquemático do experimento: Primeira Etapa Reator Físico-químico; (2) Reator de Sedimentação; (3) Bomba. Segunda Etapa (4) Reator UASB; (5) Reator de lodo Ativado.

As características construtivas dos reatores utilizados no tratamento do lixiviado bruto são mostradas na Tabela – 2.

REATOR	ALTURA	VOLUME	DIÂMETRO	TDH*
Físico-químico	57 cm	10,60 L	150 mm	-
Sedimentação	69 cm	7,00 L	115 mm	-
UASB	50 cm	0,91 L	50 mm	12 h
Lodo ativado	49 cm	5,00 L	115 mm	6h

*Tempo de Detenção Hidráulica

Tabela 2 - Características construtivas dos reatores

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na otimização do Processo Oxidativo Avançado Fenton realizada por Silva (2014), os dois parâmetros utilizados foram cor verdadeira e DQO estes dois parâmetros são os mais utilizados na otimização do POA/Fenton, a justificativa se baseia nas principais características do lixiviado de aterro sanitário que possui coloração escura (devido a altas concentrações de sólidos dissolvidos) e alta recalcitrância o que confere baixa biodegradabilidade. O POA/Fenton é uma boa alternativa de pré-tratamento para lixiviados, pois supõe-se que o mesmo aumente a biodegradabilidade deste efluente após o tratamento devido a remoção de carga orgânica e diminuição da cor verdadeira, deste modo pode-se posteriormente utilizar um processo biológico de forma mais eficiente para o tratamento do mesmo.

A Tabela 3 apresenta os resultados da caracterização físico-química do lixiviado bruto e tratado. No que se refere ao lixiviado bruto, observa-se que o mesmo apresenta um elevado teor de matéria orgânica, uma vez que foram encontradas altas concentrações de DQO (8431 mg/L). As grandes concentrações de DQO é uma característica comum de lixiviados de aterro sanitário, como foi ser observado por Felici *et al.* (2013), com DQO média de 2973mg/L em lixiviado proveniente do aterro sanitário de Londrina (PR). Lange e Amaral (2009) na caracterização do lixiviado do aterro de Muribeca (PE) encontraram valores de 4750 mg/L para DQO.

Altos valores de cor verdadeira, média de 3601 uH, foram obtidos para o lixiviado bruto. Tais resultados corroboram com os estudos realizados por Cavalcante *et al.* (2013) e Felici *et al.* (2013), os quais obtiveram valores elevados de cor para os lixiviados provenientes dos aterros de Cachoeira Paulista, SP (1763 uH) e Londrina, PR (5110 uH), respectivamente.

PARÂMETRO	LIXIVIADO BRUTO			LIXIVIADO TRATADO		
	Máx.	Min.	Média	Máx.	Min.	Média
pH	8,40	8,32	8,36	8,1	7,7	7,9
DQO (mg/L)	8402	8460	8431	2100	1820	1960
Cor verdadeira (uH)	3620	3582	3601	318	294	306

Tabela 3- Caracterização físico-química do lixiviado bruto e tratado

Ao observar os dados do lixiviado tratado por POA/Fenton conclui-se que o mesmo conferi uma boa eficiência na remoção da DQO 76% e na remoção de cor verdadeira 91%.

Bons resultados na remoção de cor e DQO também foram observados por Moravia *et al.* (2011), com eficiência de remoção de 76% para DQO

e 76% para cor verdadeira, tratando lixiviado proveniente do aterro sanitário de Belo Horizonte que está em operação desde 2002.

Quanto a produção de lodo gerado pelo processo de pré-tratamento físico-químico foi encontrado um volume 350 ml de lodo, ou seja, a cada litro de lixiviado tratado por POA/Fenton foi gerado em média 350 ml de lodo.

5. CONCLUSÃO

Após o experimento pode-se afirmar que o POA/Fenton alcançou uma alta eficiência na remoção de DQO e cor verdadeira, mas uma de suas desvantagens é a formação de lodo (35%). Este lodo precisa ter suas características estudadas para ser dispostos de maneira ambientalmente correta.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. NBR 8419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, ABNT, Normas Técnicas, 07 p.
- ANFRUNS, A.; GABARRÓ, J.; GONZALEZ-OLMOS, R.; PUIG, S.; BALAGUER, M. D.; COLPRIM, J. Coupling anammox and advanced oxidation-based technologies for mature landfill leachate treatment. *Journal of Hazardous Materials* 258– 259 (2013) 27– 34.
- AGUIAR, A.; FERRAZ, A.; CONTRERAS, D.; RODRÍGUEZ, J. Mecanismo e aplicações da reação de FENTON assistida por compostos fenólicos redutores de ferro. *Química Nova*, vol. 30, p. 623-628, 2007.
- APHA, AWW, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washiton, DC, 22 th ed. 2012.
- BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 02 de maio de 2018.
- CAVALCANTE, A. S.; HÉLCIO, J. I. F.; COSTA, M. D. P.; PANCOTTO, J. V. S.; SILVA, M. B. Estudo da aplicação de foto-Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) solar no pré-tratamento do chorume. *AUGMDOMUS*, v. 5, n. 1, p. 141 – 153, 2013.

- FARAH, C. R. T. Conjugação de processos físico-químicos (UV; H₂O₂; UV/H₂O₂; reagente de Fenton; foto-Fenton) e biológico (lodos ativados) para tratamento de águas residuárias contendo formol. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- FELICI, E. M.; KURODA, E. K.; YAMASHITA, F.; SIVLA, S. M. C. P. Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química – floculação – sedimentação. *Rev Eng Sanit Ambient*, v. 8, n. 2, p. 177-184, 2013.
- KJELDTSEN, P.; BARLAZ, M.A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T., 2002 “Presente and Long-term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review” *Environmental Science and Technology*. V. 32, n. 4, pp. 297-336.
- LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S.; Geração e Características do Lixiviado. In: GOMES, L. P. (Coord.). Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- MARAL, M. C. S.; LANGE, L. C. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras/Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro: ABES, 2009 360 p.
- MAUS, V. W.; COSTA, A. B.; RIGHES, A. A. tratamento do lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos por processo FENTON. *TECNO-LÓGICA*, Santa Cruz do Sul, v.13, n.1, p.52-59, jan./jun. 2009.
- MENDONÇA, L. C. Microbiologia e cinética de sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbico de leito expandido. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos, 2002.
- MORAIS, J.L. Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, 2005.
- MORAVIA, W. G. Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processos oxidativos avançados conjugado com sistema de separação por membrana. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.
- NAGASHIMA, L.A. Monitoramento do lixiviado em lagoa de estabilização e estudo da aplicabilidade do reagente FENTON e do coagulante tanino como formas de tratamento. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Maringá, 2009.

- PEDROSA, K. Avaliação do tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Maringá, Paraná, por processo de coagulação/floculação com TANFLOC SG[®]. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 4, n. 2, p. 87-98. 2012.
- RENO, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, P.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. Journal of Hazardous Materials 150 (2008) 468–493.
- SANTOS, A. S. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, 2012.
- SILVA, E. J. Otimização de parâmetros operacionais para tratamento de lixiviado utilizando processo FENTON. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual da Paraíba, 2014.
- TUGTAS, E.; CAVDAR, P.; CALLI, BARIS. Bio-electrochemical post-treatment of anaerobically treated landfill leachate. Bioresource Technology 128 (2013) 266–272.